



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Innovaciones metodológicas en docencia universitaria: resultados de investigación

Coordinadores

José Daniel Álvarez Teruel

Salvador Grau Company

María Teresa Tortosa Ybáñez

Coordinadores
José Daniel Álvarez Teruel
Salvador Grau Company
María Teresa Tortosa Ybáñez

© Del texto: los autores. 2016
© De esta edición:
Universidad de Alicante
Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad
Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), 2016

ISBN: 978-84-608-4181-4

Revisión y maquetación:
Salvador Grau Company
Daniel Gallego Hernández

124. GEQI (Diseño de Experimentación en Química Inorgánica sostenible)

R. Torregrosa Maciá ; M. Molina Sabio; A. Bueno López; A. Berenguer Murcia; M. Martínez Escandell; I. Martínez Mira; O. Cornejo Navarro; E. Vilaplana Ortego*

Departamento de Química Inorgánica
Universidad de Alicante

RESUMEN. En las prácticas experimentales de algunas asignaturas impartidas por el Dpto. de Química Inorgánica, en cursos anteriores, se han utilizado procedimientos de micro-escala para reducir el impacto de sus residuos. En esta Red GEQI se analizan las posibilidades adicionales para que una asignatura totalmente práctica del Grado en Química alcance un nivel aceptable de cumplimiento de los parámetros de la Química Verde. El diseño de las prácticas incluye, además del aprendizaje de los contenidos específicos de la asignatura, la valoración de la sostenibilidad de los procesos preparativos, por parte del alumnado, así como sus propuestas de mejora en base a la aplicación de los parámetros de la Química Verde. Con esta metodología de aprendizaje, se pretende aumentar la capacidad del alumnado del Grado en Química para ejercer la profesión de graduado en química de una forma respetuosa con el planeta. El resultado del trabajo de la red GEQI muestra que, para aumentar el grado de sostenibilidad de esta asignatura práctica, además de acudir a la reducción de reactivos usando micro-escala, también se pueden aplicar otras estrategias como el cambio de receta (reactivo de partida), medios de reacción que no generen residuos peligrosos o reducción de su cantidad y ahorro energético.

Palabras clave: gestión sostenible, química verde, química inorgánica, diseño de docencia.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema/ cuestión

La profesión química, entre otras, es una de las responsables de la puesta en práctica de soluciones al deterioro al que se está viendo sometido nuestro planeta. Un grupo de profesores de asignaturas de química del Grado en Química de la Universidad de Alicante, nos hemos planteado la necesidad de sumarnos a las recomendaciones de la Química Verde para promover la Sostenibilidad de nuestras enseñanzas prácticas, por una parte y, por otra, fomentar en nuestro alumnado el uso de los valores de la química verde, entrenándoles para que puedan ser los profesionales que requiere el futuro del planeta.

Por otra parte, en el Departamento de Química Inorgánica ya se han realizado actuaciones sobre las prácticas de laboratorio de diversas asignaturas de la Licenciatura en Química para reducir el impacto de las mismas. En todos los casos, se ha utilizado la estrategia de reducir las cantidades de reactivos y, por tanto, de productos sintetizados, mediante el escalado de ciertas prácticas a la micro-escala. Pero se podría utilizar otro tipo de estrategias adicionales para conseguir la reducción del impacto de todas las prácticas.

Para ello, el trabajo de la Red GEQI se ha enfocado hacia la búsqueda de otras posibles modificaciones para reducir el impacto de la asignatura Experimentación en Química Inorgánica (6 ECTS prácticos) del Grado en Química que, a la vez que sirvan para introducir al alumnado en el conocimiento y utilización de los parámetros de la Química Verde, fomenten una concienciación del importante papel de su profesión en la sostenibilidad.

1.2. Revisión de la bibliografía

En el informe de la Conferencia del Comité sobre Educación de la Sociedad Americana de Química (2003)¹, se analizan las necesidades educativas de los profesionales de la química llegando a un consenso respecto a los contenidos mínimos que necesita el alumnado para ejercer, de forma efectiva, la profesión química. De este análisis surge la necesidad de enfatizar más en *“la toxicidad de las sustancias químicas y en el papel de los químicos para dar soporte al desarrollo sostenible”*. Adicionalmente, entre los distintos aspectos pedagógicos de los que carece la educación actual en química, encuentran una falta de *“argumentación acerca de que los problemas, a los que se ha de enfrentar la profesión química en un futuro, serán complejos y desafiantes”*.

Aunque no hay muchos cursos de grado dedicados a la Química verde² (en nuestro país no existe ningún estudio), en EEUU hay universidades que tienen programas de laboratorio verdes bien establecidos.

Independientemente de los libros dedicados a la “Química Verde”, en los que se presentan los principios de esta nueva disciplina y las estrategias para adaptar las síntesis de compuestos químicos a los principios de la química verde, existen

libros de texto generales como “Chemistry in context”³, un proyecto de la American Chemical Society, con un enfoque en los principios de la química verde a través de las bases fundamentales de la química, al que acompaña un manual de laboratorio.

En la parcela de la experimentalidad, que es la que nos ocupa en este proyecto, hay diferentes libros en los que se recopilan recetas de prácticas de laboratorio, por ejemplo, a microescala⁴⁻⁷, o con experimentos adaptados a los principios de la química verde⁸.

1.3. Propósito

El trabajo tiene un doble enfoque:

- la necesidad de sumarnos a las recomendaciones de la Química Verde para promover la Sostenibilidad de nuestras enseñanzas prácticas (siendo un ejemplo a seguir por nuestro alumnado), por un lado y,
- fomentar en nuestro alumnado el uso de los valores de la química verde, entrenándoles para que puedan ser los profesionales que requiere el futuro del planeta, por otro.

2. DESARROLLO DE LA CUESTIÓN PLANTEADA

2.1. Objetivos

Hacer un estudio adaptativo de las prácticas de laboratorio de la asignatura “Experimentación en Química Inorgánica” a los principios de la Química Verde y la Sostenibilidad.

Utilizar las prácticas de laboratorio de la asignatura “Experimentación en Química Inorgánica” para que, además de aprender los contenidos específicos de la asignatura, el alumnado adquiera las competencias que se requieren en un profesional de la química para dar soporte al desarrollo sostenible.

2.2. Método y proceso de investigación

La metodología utilizada para desarrollar la investigación teórica ha sido el trabajo en equipos, compuestos por 1 o 2 PDI y 1 PAS, para realizar la búsqueda de prácticas de laboratorio que pudieran utilizarse tal cual o adaptarse a los requisitos de la química verde.

En primer lugar, cada equipo de trabajo dentro de la red ha analizado las prácticas actuales para ver en qué grado se cumplen los principios de la química verde (Figura 1) y ha llevado a la reunión de la Red una propuesta de trabajo para utilizar un procedimiento de adaptación con el fin de proponer la redacción y comprobación experimental de una receta, teniendo en cuenta los parámetros de cuantificación de la Química Verde (Tabla 1).

Figura 1. Los 12 Principios de la Química Verde⁹

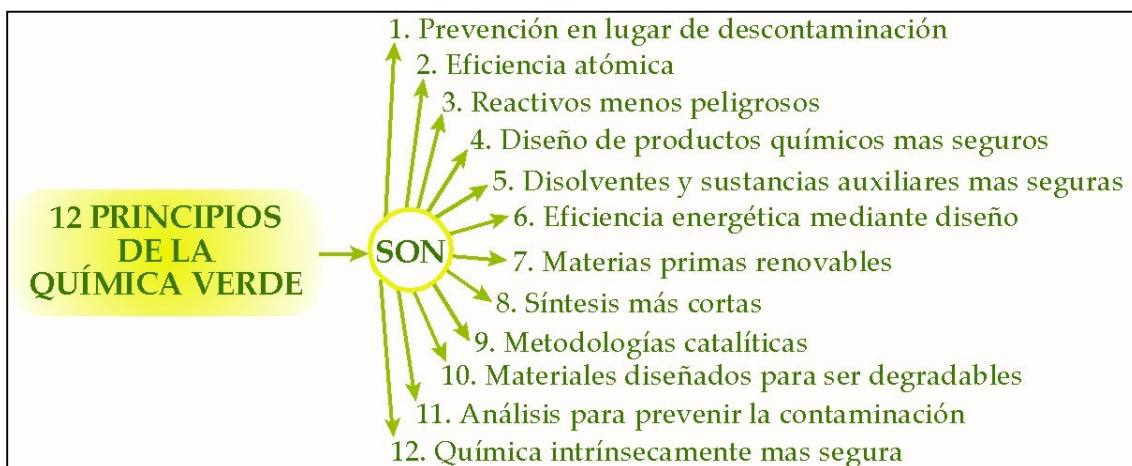


Tabla 1. Parámetros de cuantificación de la Química Verde¹⁰, definidos mediante las ecuaciones de la (1) a la (7).

Factor E (medioambiental):	Eficiencia Atómica:
$E = \frac{\text{Masa total de residuos}}{\text{Masa de producto final}} \quad (1)$	$EA(\%) = \frac{Pm \text{ de producto} \times 100}{\Sigma Pm \text{ de reactivos}} \quad (2)$
Intensidad de Masa:	Eficiencia Másica de la Reacción:
$IM = \frac{\text{Masa total del proceso}}{\text{Masa de producto}} \quad (3)$	$EMR(\%) = \frac{\text{Masa de prod. (C)} \times 100}{\text{Masa de react. (A)} + \text{Masa de react. (B)}} \quad (4)$
Productividad de Masa:	Eficiencia de Carbono:
$PM = \frac{\text{Masa total de producto}}{\text{Masa total del proceso}} \quad (5)$	$EC(\%) = \frac{\text{Carbono en producto} \times 100}{\text{Carbono total en reactivos}} \quad (6)$
Rendimiento Efectivo:	Másico
$RME(\%) = \frac{\text{Masa de producto} \times 100}{\text{Masa de reactivos peligrosos}} \quad (7)$	

El PDI de cada equipo realizó el análisis de las recetas actuales y la búsqueda de alternativas para su adaptación a los principios de la química verde o recomendar su sustitución por otra preparación práctica. El PAS de cada equipo realizó la evaluación del coste de materiales y reactivos necesarios para las prácticas actuales y las propuestas, así como el gasto que se genera en la eliminación de residuos en ambos casos.

Adicionalmente, con los datos obtenidos de cada Equipo, el PAS evaluó el ahorro total de materiales, reactivos y en el gasto de eliminación de residuos que se obtendría con el cambio.

El procedimiento utilizado por cada equipo de trabajo en la adaptación de las prácticas y sus propuestas se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición de los equipos de trabajo y procedimiento de adaptación de una práctica utilizado por cada uno de ellos.

	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4
Procedimiento de adaptación	Re-escalado	Cambio de receta	Reducción de residuos y escalado	Reducción de residuos y de gasto energético
Propuesta de práctica	Separación cromatográfica de especies de vanadio	Obtención de nitrato de cobre (II)	Crecimiento de cristales en geles	Preparación de nanopartículas de ferrita
Investigadores	Á. Berenguer Murcia E. Vilaplana Ortego	M. Molina Sabio O. Cornejo Navarro	M. Martínez Escandell A. Bueno López I. Martínez Mira	R. Torregrosa Maciá E. Vilaplana Ortego

2.2.1. Investigación realizada por el Equipo 1

Dentro de las prácticas actuales de la asignatura, este Equipo ha localizado algunas que pueden re-escalarsse utilizando la misma receta, consiguiendo con ello disminuir el gasto de materias primas y de residuos, a la vez que se disminuye la huella de Carbono, como consecuencia de las disminuciones anteriores y del uso de agua destilada y del de material de laboratorio de menor tamaño, que requiere menor cantidad de vidrio en su fabricación.

Mediante la minimización de la generación de residuos, a través del escalado en una práctica dada, se disminuirá el consumo de energía derivado del tratamiento de residuos (“Prevención en lugar de descontaminación”). El nuevo enfoque que se le pretende dar a esta práctica ahonda sobre los aspectos de “Prevención de la generación de residuos”, uso de “Materias primas renovables, “Temperatura y presión ambientales” (Figura 1-Principios 1,2, 11 y 6) y Factor “E” o factor medioambiental, que estima la “Eficiencia global del proceso” de la misma.

El principio fundamental del que parte esta propuesta es el de reducir de forma drástica tanto la cantidad de reactivos necesarios como la de productos generados, mediante un proceso de escalado simple.

La metodología planteada en este trabajo permite, sin menoscabo alguno del valor docente y de las posibilidades de aprendizaje para el alumnado, reducir de forma drástica:

- La cantidad de reactivos necesarios y de residuos generados (hasta en un orden de magnitud).

- El equipamiento necesario para poder realizar la práctica, lo cual permitiría facilitar el transporte de la experiencia para mostrarla al público en días de puertas abiertas o en ferias científicas.
- El coste (tanto económico como energético) de la realización de la práctica por alumno.
- En la Tabla 1 del Anexo se encuentran los datos de la comparación entre una práctica de separación cromatográfica convencional y escalada.

2.2.2. Investigación realizada por el Equipo 2

Entre las prácticas actuales, hay algunas que se pueden adaptar a los principios de la química verde buscando otras recetas clásicas que presenten un menor factor E (ec. 1) y/o una mayor EA% (ec. 2). Este grupo de prácticas susceptibles de cambio de receta “clásica” permitirá localizar “Reactivos menos peligrosos”, “Disolventes y sustancias auxiliares menos peligrosas”, “Aumentar la Eficiencia atómica” e, incluso, “Realizar un análisis para prevenir la contaminación” (Figura 1-Principios 3,5, 2 y 11).

Teniendo en cuenta que es frecuente encontrar en la bibliografía diversos enfoques, formas distintas de abordar una misma preparación, diferentes recetas de preparación de un compuesto dado, el alumnado se entrenaría en la búsqueda de la receta óptima que permita realizar dicha síntesis de la forma más respetuosa con el medio ambiente.

La selección de la receta es un ejercicio muy instructivo ya que obliga al alumnado a conocer el fundamento en el que se basa la síntesis, la reacción implicada, el papel que juega cada uno de los reactivos, las condiciones experimentales utilizadas, la instrumentación requerida para desarrollarla, etc. Una vez analizadas las distintas recetas, el alumnado tiene que aplicar unos criterios de selección basados en la disponibilidad de instrumentación y equipamiento, tiempos de ejecución, facilidad del método, etc. y es justamente en esta etapa donde pueden entrar en juego los criterios de selección en los que descansa la Química Verde: menor consumo de reactivos, uso de reactivos alternativos, condiciones de reacción más suaves, menores emisiones de contaminantes, menos residuos, etc.

2.2.3. Investigación realizada por el Equipo 3

La labor de investigación de este Equipo se ha centrado en la localización de prácticas susceptibles de utilizar materias primas diferentes, que generen menos residuos que los de las recetas clásicas y que, adicionalmente, se puedan re-escalar, cumpliéndose los principios de “Reactivos menos peligrosos”, “Materiales diseñados para ser degradables”, “Diseño de productos químicos más seguros” y “Prevención en lugar de descontaminación”. (Figura 1-Principios 3, 10, 4, 1).

Algunas de las prácticas actuales pueden realizarse sustituyendo materias primas que se requieren en cantidad mayor que otras que realizan el mismo papel en la receta. Además de este cambio, también se puede re-escalar disminuyendo el tamaño de los materiales de laboratorio necesarios para llevar a cabo la práctica.

En la práctica actual, en la que se realiza el crecimiento de cristales de ioduro de plomo (II) en gel de sílice, se requiere el uso de material de plástico para evitar el deterioro que produce el silicato sódico en los recipientes de vidrio. Entre los materiales, además de vasos y probeta de plástico, se utiliza un tubo de ensayo de vidrio de 25x250. Una vez producidos los cristales de producto, estos se separan del gel y el tubo de ensayo utilizado, con el residuo de gel, se deshecha porque su interior está atacado por el silicato sódico y no es reutilizable.

En esta práctica, el gel de sílice se puede sustituir por gel de agar utilizando tubos de ensayo más pequeños. Además, esta preparación no requiere ni ácido acético ni material de plástico. Los tubos de ensayo pueden ser más pequeños y después de sacar el gel de dentro de los mismos y recoger los cristales, el gel se puede desechar en la basura orgánica ya que es biodegradable y el tubo de vidrio se puede reutilizar.

En la Tabla 2 del Anexo se presenta, a título de ejemplo, la comparación de los reactivos las cantidades utilizadas de los mismos, así como el material desechable. De los datos presentados, se evidencia la disminución de las cantidades de reactivos utilizadas en la propuesta alternativa a la práctica convencional, así como la eliminación de reactivos peligrosos para la salud y la disminución de residuos.

2.2.4. Investigación realizada por el Equipo 4

Las prácticas investigadas por este Equipo tienen en común la utilización de residuos de otras preparaciones para servir de materia prima en la preparación de otras sustancias en el laboratorio y que requieran un menor gasto energético (Figura 1-Principios 1, 7, y 6).

Las preparaciones clásicas de magnetita utilizan métodos que requieren elevada energía, como ocurre generalmente con las reacciones en estado sólido, debido a su elevada energía de activación.

En este caso, se ha preparado una práctica de obtención de nanopartículas de magnetita a partir de un material de residuo, placas de hierro. La transformación de Fe_2O_3 en Fe_3O_4 requiere una elevada energía de activación. Una forma de reducir la temperatura y el tiempo de la reacción de síntesis está basada en el aumento puntual de temperatura que se produce cuando los reactivos se irradian con radiación electromagnética del rango de las microondas.

La reacción de transformación de Fe_2O_3 en Fe_3O_4 requiere la participación de Fe sólido (de la propia lámina) en el proceso que se realiza en fase sólida que, en este caso, está presente junto al óxido de hierro superficial procedente de la corrosión. A pesar de que las reacciones en estado sólido requieren elevadas temperaturas y tiempos, para permitir la difusión de las especies desde el interior de los sólidos reactivos hacia la interfase, la aplicación de energía electromagnética del rango de las microondas produce elevaciones puntuales de temperatura de nivel mucho mayor que el alcanzado en un horno convencional, por lo que se produce de forma muy rápida la reacción.

Es muy importante el ahorro de energía que se obtiene al utilizar las microondas durante un periodo de tiempo de 30 min respecto al tratamiento de elevada temperatura durante días.

2.2.5. Evaluación del ahorro de materiales, reactivos y residuos de estas prácticas

Para alguno de estos casos, el PAS ha calculado el posible ahorro en los materiales y reactivos utilizados y en los residuos generados, que se incluyen en la Tabla 3 del Anexo. El gasto/puesto de trabajo en el laboratorio, realizado durante el curso 2014-15, se vería sustancialmente disminuido en la práctica que se ha re-escalado, como consecuencia del precio elevado de los reactivos.

3. CONCLUSIONES

El resultado del trabajo de los cuatro Equipos de investigación, se resume en la primera columna de la Tabla XX y las diferentes propuestas de actuación, para conseguir una mayor adaptación de la asignatura práctica a los principios de la química verde, se enuncian en la segunda columna.

Tabla 4. Propuestas de modificación de las recetas actuales elaboradas por cada uno de los cuatro Equipos de investigación docente.

Equipo de trabajo	Tipo de receta actual	Propuesta de actuación
1 Á. Berenguer Murcia E. Vilaplana Ortego	A escala normal de laboratorio.	Re-escalado
2 M. Molina Sabio O. Cornejo Navarro	Receta clásica.	Selección de receta en base a: mayor eficiencia atómica. menor uso de reactivos peligrosos.
3 M. Martínez Escandell A. Bueno López I. Martínez Mira	Uso de reactivos con gran volumen de residuos.	Sustitución por otros con menos residuos. Re-escalado.
4 R. Torregrosa Maciá E. Vilaplana Ortego	Uso de reactivos comprados. Síntesis con mucho gasto energético (pérdidas de energía).	Uso de residuos como materia prima. Métodos de síntesis con mayor aprovechamiento energético.

Adicionalmente, se reduce la huella de Carbono (el gasto energético requerido para la obtención de los reactivos, su transporte, el tratamiento del agua destilada, el tratamiento de los residuos) al reducirse los costes tanto en reactivos, como material de laboratorio y de tratamiento de residuos.

Como consecuencia de las conclusiones anteriores, las directrices que recibirá el alumnado, tras asistir a la explicación de los principios de la Química verde y el uso de los parámetros para su cuantificación, serán:

- Analizar, desde la perspectiva de Q.V. y sus parámetros (Figura 1 y ecuaciones de la 1 a la 7), la receta adjudicada para detectar cuáles pueden ser los principios a los que se adapta y/o cuáles son los más problemáticos para la sostenibilidad a los que no se adapta.
- Utilizar diferentes bases de datos para encontrar sustancias que puedan sustituir a aquellas peligrosas.
- Realizar propuestas razonadas de mejora en la receta para que se eliminen, al menos, las materias primas más problemáticas a los que no se adapta.

4. DIFICULTADES ENCONTRADAS

El nivel de formación de los componentes de la Red GEQI, tanto PAS como PDI, ha resultado ser suficiente para abordar el trabajo de la misma, tal y como se ha expresado en las fichas mensuales de seguimiento del Proyecto Redes. El PDI ha realizado la clasificación de la metodología a utilizar para que el alumnado haga la evaluación y selección razonada de recetas de las prácticas de laboratorio de la asignatura Síntesis Química Inorgánica del Grado en Química que más se adapten a los principios de la Química Verde y Sostenible. Por su parte, la labor realizada por el PAS, calculando la disminución de vertidos tóxicos y peligrosos y del gasto energético que supone el cambio planteado en las prácticas, ha sido de capital importancia para visualizar los beneficios de sostenibilidad que se alcanzarían con la propuesta de esta Red.

PROPUESTAS DE MEJORA

En la investigación realizada en la presente Red (3324) se han establecido criterios para que la asignatura práctica de Síntesis Química Inorgánica del Grado en Química se adapte a los principios de la Química Verde y Sostenible. Sería muy beneficioso, dentro del Departamento de Química Inorgánica, realizar también la adaptación a estos principios de las prácticas de laboratorio de las demás asignaturas impartidas por el Departamento, no solo en el Grado de Química, sino también en el resto de titulaciones.

6. PREVISIÓN DE CONTINUIDAD

La participación en el Proyecto Redes ha sido de gran ayuda para ensayar las estrategias de cambio de la asignatura de Síntesis Química Inorgánica del Grado en Química en su adaptación a los principios de la Química Verde y Sostenible. La aplicación de las conclusiones alcanzadas por la Red 3324 se realizará, previsiblemente, en el curso 2015-16, después del cual se podrá tener datos empíricos de su utilidad. Por dicho motivo, consideramos la posibilidad de participar en futuras ediciones del Proyecto Redes y compartir con el resto de la comunidad educativa, los resultados de esta investigación docente que

consideramos tiene una gran importancia en la preparación de profesionales de la química acorde a las necesidades del planeta.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Chemical Society (ACS). (2014). *Chemistry in Context: Applying Chemistry to Society*. 8th Edition. McGraw-Hill Higher Education. Recuperado de <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/education/exploring-the-molecular-vision.pdf>
- Andraos, J. and Dicks, A. P. (2012). Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 13, 69-79.
- American Chemical Society (ACS). (2014). *Chemistry in Context: Applying Chemistry to Society*. 8th Edition. McGraw-Hill Higher Education.
- Jennifer, L. Y., and Robert P. (2013). ConfChem Conference on Educating the Next Generation: Green and Sustainable Chemistry & Education Resources from the ACS Green Chemistry Institute. *J. Chem. Educ.*, 90, 513-514.
- Lerner, L. (2011). *"Small-Scale Synthesis of Laboratory Reagents"*. Boca Raton. CRC Press.
- Szafran, S., Pike, R. M., Singh, M. M. (1991). *"Microscale Inorganic Chemistry. A Comprehensive Laboratory Experience"*. N.Y. John Wiley & Sons, Inc.
- Bishop, C. B., Bishop, M.B., Whitten, K.W. (2004). Fifth ed. Toronto. Thomson. Books/Cole.
- Arnaiz, F. J. (2014). "Experimentos para el Laboratorio de Química Inorgánica Verde. Versión para América". Lulu.
- Anastas, P.T. & Warner, J.C. (1998). *Green Chemistry: Theory & Practice*. New York: Oxford Univ. Press.
- Constable, Alan D., Curzons, A.D. and Cunningham, V.L. (2002). *Green Chemistry*, 4, 521-527.

ANEXO 1

Tabla 1. Comparación entre una práctica de separación cromatográfica convencional y escalada.

	Práctica convencional/por alumno	Práctica escalada/por alumno
Material columna	Bureta de 25 mL	Pipeta Pasteur de vidrio
Reactivos	200 mg de metavanadato amónico	20 mg de metavanadato amónico
Disoluciones	Ácido clorhídrico conc. 50 mL	Ácido clorhídrico conc. 5 mL
Sistema de separación	Resina Amberlite (reutilizable)	Resina Amberlite (reutilizable)
Eluyentes	100-200 mL	10-20 mL
Sistema de detección	Tubos de ensayo (+ gradilla)	Placa de ensayos
Limpieza de material	Bureta, tubos de ensayo (agua y jabón)	Placa de porcelana (lavado agua)
Gestión de residuos/material	Limpieza de todo el material de vidrio	Limpieza sólo placa de ensayos

Tabla 2. Comparación entre una práctica de cristalización de yoduro de plomo en gel de sílice convencional y en gel de agar escalada.

	Práctica convencional/por alumno	Práctica escalada/por alumno
Recipiente de cristalización	Tubo de ensayo de 25x250	Tubo de ensayo de 15x150
Reactivos	3,125 mL de Silicato sódico 0,479 g de KI 0,583 g Acetato de plomo 2,083 ml Ác. Acético glacial	0,042 g de Agar 0,200 g de KI 0,073 g Acetato de plomo no se requiere Ác. Acético glacial
Limpieza de material	Tubo de ensayo 25x250 no se limpian. Se desechan por estar deteriorado su interior.	Tubo de ensayo 15x150 se lava con agua y jabón
Gestión de residuos/material	Limpieza del resto de material de vidrio Desechado de los tubo de ensayo 25x250	Limpieza de todo el material de vidrio (incluido el tubo de 15x150)

Tabla 3. Resumen de costes parciales y totales (€), junto con el ahorro debido a la aplicación de los cambios propuestos para dos de las prácticas realizadas en el curso 2014-15.

Práctica	Nº Puestos	Coste/ puesto	Coste total	Coste por puesto tras modificación	Coste Total tras modificación	Ahorro Total (año)
Separación de oxocomplejos de Vanadio por CII	24	261.79	6282.96	203.46	4883.04	1399.92
Síntesis de PbI_2	24	295.66	7095.84	290.05	6961.2	134.64

En 2015 han hecho estas prácticas 48 alumnos/as, lo que supone 24 puestos de trabajo.